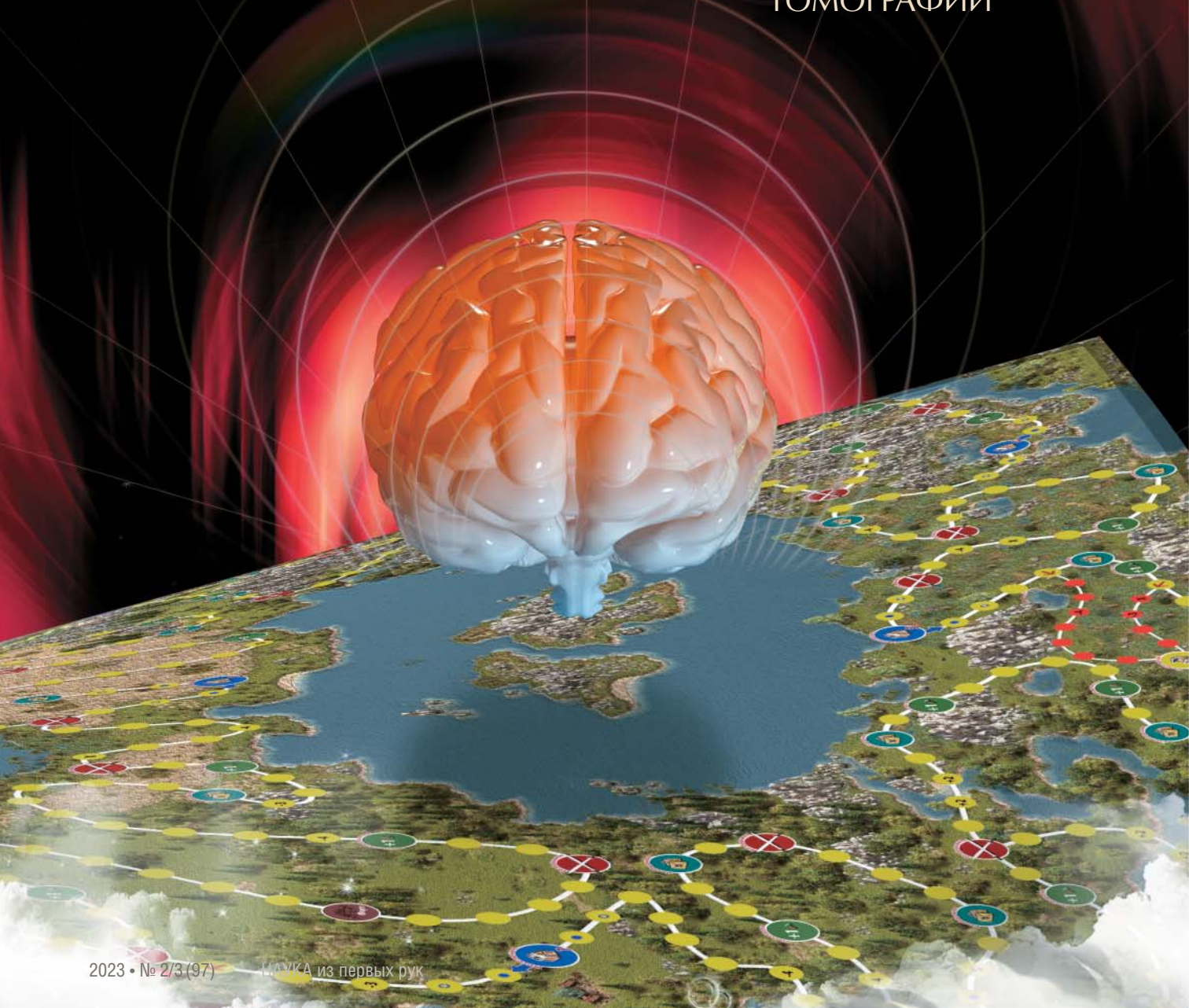


М. Б. ШТАРК, А. А. САВЕЛОВ, М. В. РЕЗАКОВА, К. Г. МАЖИРИНА

Как увидеть мысли

НЕОРТОДОКСАЛЬНЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ



До недавнего времени фундаментальные сведения о работе мозга удавалось получать лишь из косвенных источников. Речь идет о прямых экспериментах на животных; наблюдениях за больными людьми, у которых поражение того или иного участка мозга проявляется в виде параличей, нарушений речи или памяти; нейропсихологическом тестировании; операциях на открытом мозге, позволяющих нейрохирургу видеть реакцию на конкретные раздражители; наконец, регистрации электрической активности мозга. Однако на основе результатов, полученных с помощью этих подходов, нельзя описать, как работает мозг при решении той или иной конкретной задачи. Возможность непосредственно наблюдать динамику познавательной (когнитивной) деятельности мозга, иными словами, «видеть мысли» появилась лишь с внедрением в исследовательскую практику технологии функциональной магнитно-резонансной томографии

Ключевые слова: функциональная магнитно-резонансная томография, брейн-компьютер-интерфейс, когнитивные функции, мысленная навигация, нейробиоуправление.

Key words: functional MRI, Brain Computer Interface, cognitive functions, mental navigation, neurofeedback

© М. Б. Штарк, А. А. Савелов, М. В. Резакова, К. Г. Мажирин, 2023

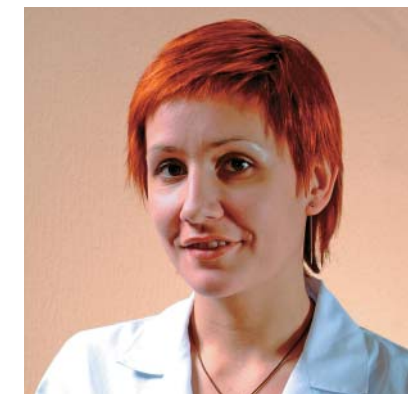
ШТАРК Марк Борисович – академик РАМН, профессор, доктор биологических наук, заведующий отделом биофизики и биоинженерии НИИ молекулярной биологии и биофизики СО РАМН (Новосибирск). Лауреат Премии Правительства РФ по науке и технике (2005). Член Американской ассоциации биоуправления и прикладной психофизиологии. Автор и соавтор более 300 научных работ и 3 патентов



САВЕЛОВ Андрей Александрович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории МРТ-технологии Международного томографического центра СО РАН (Новосибирск). Автор и соавтор более 65 научных работ

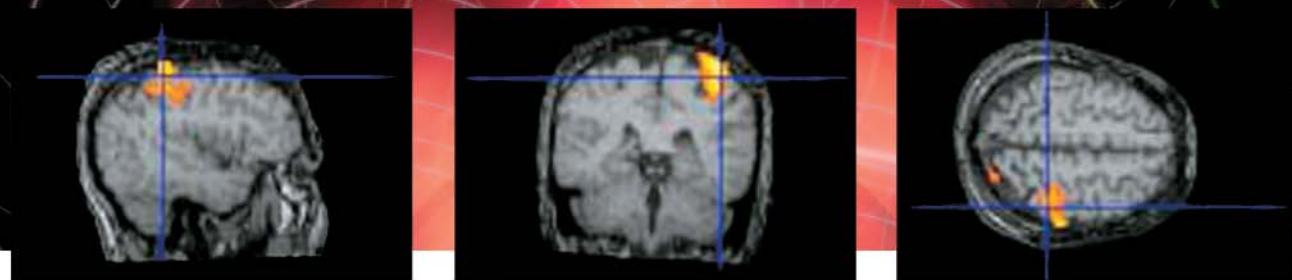


РЕЗАКОВА Мария Викторовна – кандидат медицинских наук, научный сотрудник лаборатории МРТ-технологии Международного томографического центра СО РАН (Новосибирск). Автор и соавтор более 20 научных работ



МАЖИРИНА Ксения Геннадьевна – кандидат психологических наук, научный сотрудник лаборатории компьютерных систем биоуправления НИИ молекулярной биологии и биофизики ФИЦ фундаментальной и трансляционной медицины (Новосибирск). Автор и соавтор более 20 научных работ





Статистические значения активации

Стандартный эксперимент функциональной магнитно-резонансной томографии по визуализации когнитивных и двигательных операций («парадигм») состоит из нескольких блоков, каждый из которых включает фазу покоя и фазу активации. Так как время запаздывания сосудистого отклика измеряется несколькими секундами, длительность каждой фазы должна составлять 20–30 с. Оптимальная чувствительность метода достигается в том случае, если сигнал BOLD находится в состоянии динамического равновесия. *Вверху* – три ортогональных сечения трехмерного T1-взвешенного изображения мозга при сокращении правой кисти

Гипотеза о связи интенсивности кровоснабжения мозга с его активностью получила распространение еще в конце XIX в. с легкой руки выдающегося британского физиолога Ч. Шеррингтона. Спустя много лет наличие этой связи было доказано радиографическими методами, подтвердившими прямую зависимость между обменными процессами в определенных работающих участках мозга и скоростью доставки к ним кислорода.

А чуть больше двух десятилетий назад сотрудники американской исследовательской организации AT&T Bell laboratories описали принцип визуализации активности зон головного мозга в режиме реального времени с использованием магнитно-резонансной томографии (МРТ), при которой контрастность изображения определяется степенью насыщения крови кислородом (Ogawa *et al.*, 1990). Именно этот принцип лег в основу технологии *функциональной магнитно-резонансной томографии* (фМРТ) – динамического исследования активных зон мозговых структур в момент их деятельности, впервые опробованного на человеке спустя два года после первой публикации.

Маркер – кислород

Активация участка мозга всегда связана с потреблением энергии, поэтому она влечет за собой ускорение обмена глюкозы и трансформацию молекул гемоглобина – поставщика кислорода в нашем организме, – при которой оксигемоглобин, обратимо соединенный с кислородом, превращается в дезоксигемоглобин («восстановленный» гемоглобин).

Ключевой фактор для магнитно-резонансной томографии – различия магнитных свойств разных форм гемоглобина. Так, оксигемоглобин является *диамагнетиком*, т. е. веществом, намагничивающимся против направления внешнего магнитного поля. Дезоксигемоглобин («восстановленный» гемоглобин), напротив, имеет свойства *парамагнетика*, намагничиваясь в направлении внешнего магнитного поля. Величина сигнала МРТ зависит от количества дезоксигемоглобина в ткани: чем выше концентрация, тем ниже сигнал.

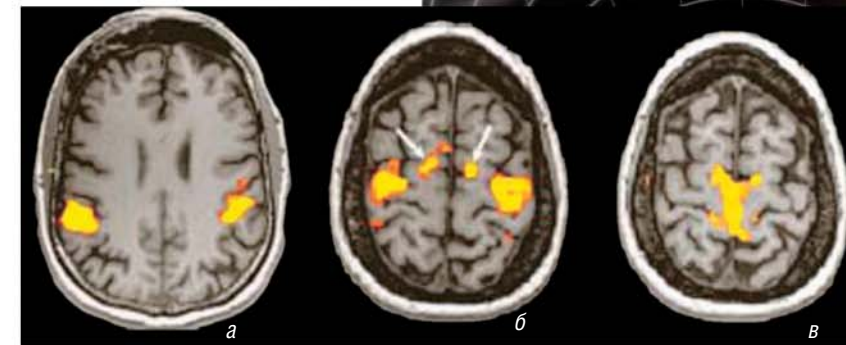
МРТ (магнитно-резонансная томография) – это диагностическая процедура, в основе которой лежит эффект ядерно-магнитного резонанса. Суть его в том, что под действием магнитного поля протоны (положительно заряженные ядра водорода) в живых тканях способны переходить на более высокий энергетический уровень, а затем возвращаться в исходное состояние. Последнее сопровождается выделением энергии, которую можно измерить.

Затем полученный сигнал преобразовывают в так называемое T1-взвешенное изображение (T1 – время, за которое две трети протонов возвращаются в исходное состояние). Получаемое на выходе изображение будет различно для разных тканей, например, здоровых и больных.

Современные методики МРТ позволяют не только визуализировать с высоким качеством различные внутренние органы, но и исследовать их функцию. Благодаря отсутствию ионизирующего облучения можно использовать этот метод без ограничений и многократно проводить повторные исследования

Различные когнитивные и двигательные операции сопровождаются активацией разных зон мозга.

Справа – локализация зон активации в двигательных зонах вдоль центральной борозды мозга при произнесении скороговорки (а); последовательном постукивании пальцами рук (б); сгибании и разгибании ног (в).
По: (Leach and Holland, 2010)



Показатель, который определяется соотношением двух форм гемоглобина и зависит от уровня кислорода в крови, называют BOLD (от англ. *blood oxygenation level dependent*).

Чем активнее работает участок мозга, тем больше кислорода он потребляет. При формировании действующего нейронного ансамбля увеличение локального потребления энергии уже в первые секунды приводит к возрастанию концентрации парамагнитного дезоксигемоглобина; затем происходит реакция сосудистой системы, заключающаяся в увеличении местного кровоснабжения и кровенаполнения тканей мозга из-за роста объема и скорости кровотока.

Отсюда следует, что относительная величина сигнала МРТ может служить мерой активности зон мозга. Более того, результаты, полученные под контролем электроэнцефалографии на зрительной коре открытого мозга приматов, дают основания утверждать, что сигнал МРТ является линейным откликом на электрическую активность, которую генерирует действующий нейронный ансамбль (Logothetis *et al.*, 2002).

Таким образом, функциональная МРТ, ориентированная на детектирование BOLD-эффекта, является на сегодня оптимальным инструментом картирования нейрональной активности, точнее, функционального состояния нейронных сетей – основы визуализации наших мыслей и идей. Другими словами, именно с помощью фМРТ можно в прямом смысле увидеть, как наш мозг решает задачи в масштабе реального времени.

Сила мысли

С технологией фМРТ тесно связана нейробиологическая технология интерфейса «мозг – компьютер», своего рода «компьютерный симбиоз» (Каплан, 2005, 2012; Черникова и др., 2010). Речь идет о возможности с помощью электроэнцефалограммы получить отображение устойчивого «рисунка» биоэлектрической активности мозга, привязав этот рисунок к функции мозговых структур и образованию в них новых устойчивых нейронных ансамблей. При этом электроэнцефалограмма является не только источником информации

Еще в конце XIX в. французский нейрохирург П. Брока (1861) описал нарушения речи, вызванные поражением определенной зоны левого полушария. Его работа положила начало многочисленным исследованиям, посвященным развитию клинического анализа языковой организации мозга и ее нарушениям. И определение траектории речевого развития – локализации «центра речи» на пространстве соответствующих зон мозга – стало одной из наиболее крупных областей применения фМРТ.

Сведения о локализации в мозге речевых (буквенных, семантических и синтаксических) зон сегодня конструктивно используются в нейрохирургической практике. Речь идет о предоперационном определении тех участков коры у пациентов с различными поражениями мозга, куда не должен вторгаться нож хирурга. На сегодня фМРТ является практически единственной технологией, которая позволяет определить такую «пограничную» зону

о внутримозговых событиях: эти данные можно использовать в качестве сигнала обратной связи для контура произвольной саморегуляции функций организма.

Хотя нейробиология является самостоятельной научной областью, возникла она как «социальный продукт» для глубоких инвалидов, благодаря которому у людей, прикованных к коляске и лишенных самостоятельных двигательных навыков, появляется возможность управления искусственными конечностями, такими как механическая рука (Hochberg *et al.*, 2012).

Одним из практических приложений нейробиологии является нейроуправление, нелекарственная технология, основанная на принципах вышеупомянутой адаптивной обратной связи – феномене, обеспечивающем механизм саморегуляции. В основе этой технологии лежит идея о том, что человека можно обучить волевому управлению неосознаваемыми физиологическими характеристиками, такими как частота пульса и параметры ритмов электрической активности мозга.

Способность человека целенаправленно изменять параметры электроэнцефалограммы была впервые



описана американским ученым Дж. Камия еще в 1958 г. (эту способность изучали с целью управления функциональным состоянием мозга пациента и изменения тенденции развития психики). Дальнейшие исследования доказали удивительные способности нашего мозга к внутренним перестройкам, не предусмотренным природой. Оказалось, что с помощью нейробиоуправления можно сформировать у человека ранее отсутствовавшие навыки саморегуляции, образовать новые и «пробудить» дремлющие мозговые образования. При этом фМРТ дает возможность визуализировать реальную временную и пространственную динамику работы мозга.

С практической точки зрения особый интерес представляет технология так называемого игрового биоуправления, когда человек обучается «руководить» виртуальным игровым сюжетом через волевые изменения своих физиологических характеристик, таких как кардиограмма, пульс, температура кожи и электрическая активность мозга.

Игра – активность индивида, направленная на моделирование той или иной реальной деятельности. Она позволяет человеку формировать и совершенствовать функции управления собственным поведением и произвольной активностью в целом. При использовании игрового биоуправления игрок становится активным субъектом лечебного (коррекционного) процесса или процесса обретения новых навыков

Один из элементов системы биоуправления – «мозговая шапка», система закрепленных наружных электродов для снятия ЭЭГ (слева). Для динамического картирования зон активности головного мозга испытуемого помещают в кольцевой магнит томографа

Обыграть себя

В контексте нейробиологии *игра* – это психологическая реальность с большим числом нестандартных ситуаций, в которых невозможно стереотипное поведение. Компьютерный игрок привыкает перемещаться из одного виртуального мира в другой, быстро адаптируясь к новым виртуальным реалиям на основе личностных предпочтений.

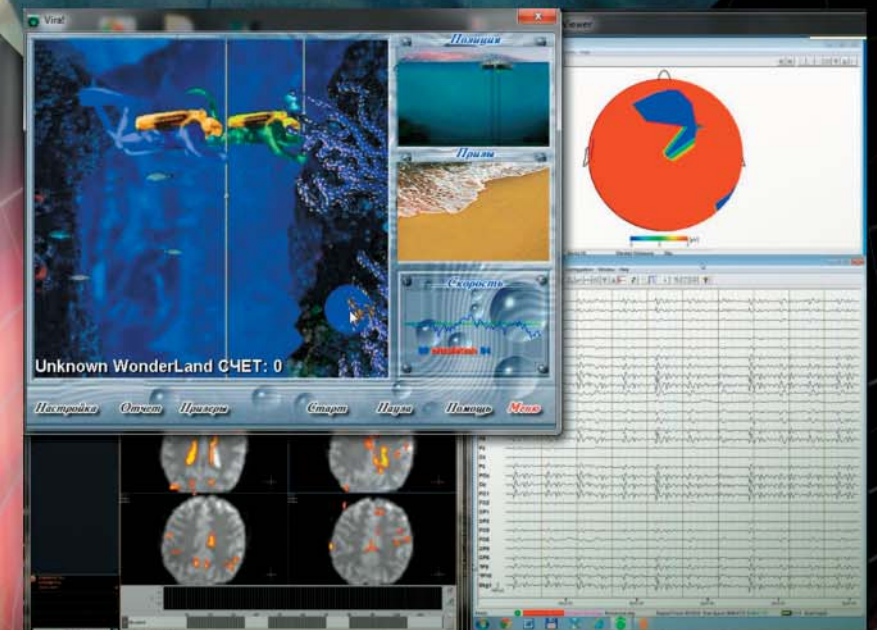
Во время игры мозг ведет активную деятельность, определяя вариант действий, который в данный момент представляется наиболее выигрышным. В случае использования биоуправления игрок, овладев навыками саморегуляции, может управлять этим процессом, так как адаптивная обратная связь позволяет не только увидеть и «проиграть» различные стратегии поведения, но и оценить степень их эффективности. В этом смысле эта технология представляет собой мощный механизм обучения человека новым поведенческим стереотипам.

На базе Международного томографического центра СО РАН совместно с НИИ молекулярной биологии и биофизики СО РАМН (Новосибирск) проведен эксперимент по нейровизуализации «волевого»



В игре «Вира!» – захватывающем поиске подводных сокровищ, скорость погружения игроков регулируется пульсом, который замеряется беспроводным датчиком на указательном пальце левой руки.

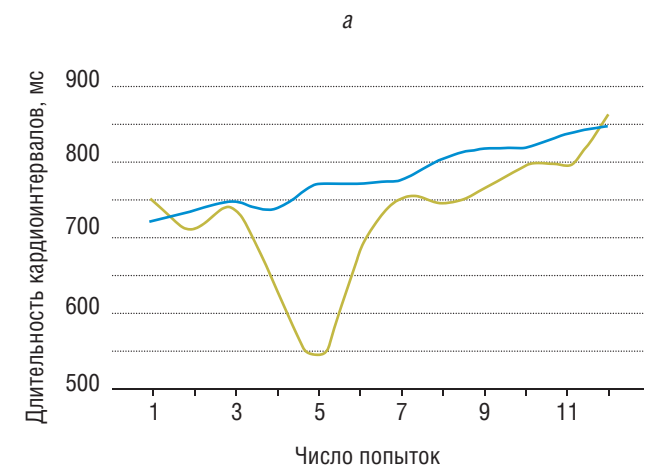
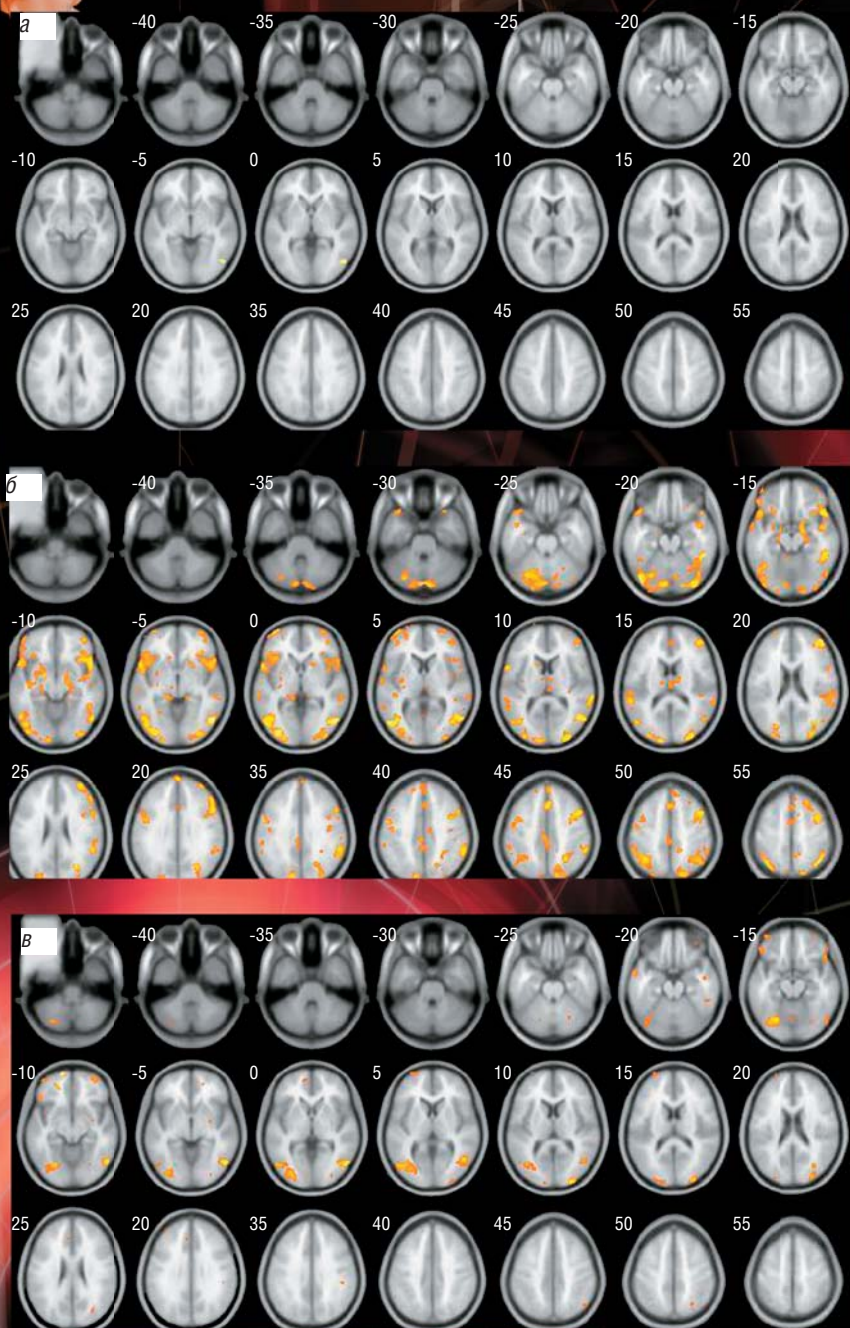
Во время экспериментов испытуемые помещались в кольцевой магнит томографа *Achieva Nova Dual* (Филипс, Нидерланды) с индукцией магнитного поля 1,5 Тл. Испытуемый мог видеть экран монитора, где разворачивался игровой сюжет, благодаря специальной головке приемно-передающей катушке снабженной косым зеркалом (вверху). На экране в режиме реального времени отражались также зоны активности мозга и данные ЭЭГ (справа)



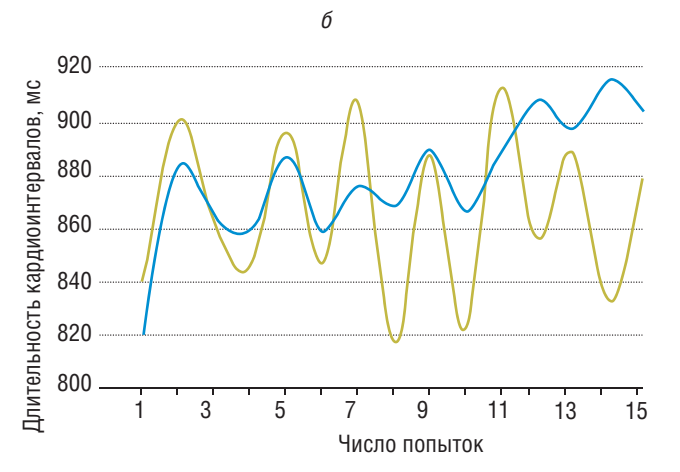


В игре «Вира!» выигрывает тот, кто может сохранять спокойствие даже во время азартных соревнований. Выбрать место для погружения можно, нажав на одну из отметок на старинной пиратской карте. Искатели сокровищ начинают опускаться на дно. Побеждает тот, кто первым достигнет дна. И чем медленнее будет пульс игрока, тем выше его скорость

Во время развертывания игрового сюжета «Вира!» у 16 испытуемых с помощью фМРТ-технологии был изучен процесс возникновения и развития зон активности головного мозга. Оказалось, что исходное состояние (а) характеризуется предсуществованием зон активности в зоне 37 по Бродману, а также в средней височной извилине. На «пике» соревновательного сюжета (4–6 попытке) в борьбу за выигрыш последовательно вовлекается все большее число вновь образующихся нейронных ансамблей (б). Новые зоны активности появляются в корковых, мозжечковых и стволовых образованиях, среднетеменной, переднелобной извилинах. На «финише» зоны активации (в уменьшенных объемах) сохраняются в симметричных задних долях мозжечка, пирамидах, скате, средних лобных и затылочных извилинах (в)



— Реальный этап
— Имитационный этап



В игровом сюжете «Вира!» испытуемые с более эффективной стратегией саморегуляции (а) оказались более успешными по сравнению с другими игроками (б) как в случае реального биоуправления, так и «ложного». В обоих случаях им удалось волевым усилием замедлить пульс, т. е. увеличить длительность кардиоинтервалов

управления виртуальным игровым сюжетом на группе молодых мужчин.

Испытуемым предлагался игровой сюжет «Вира!», посвященный поиску подводных сокровищ. Каждый испытуемый, находясь в кольцевом магните томографа, управлял одним из аквалангистов, опускавшихся на дно. Скорость игрока напрямую определялась частотой сердечных сокращений: чем медленнее пульс, тем выше скорость. На протяжении игры информация о частоте пульса передавалась в виде визуального ряда на экран монитора, доступный испытуемому. Чтобы победить в игре, требовалось научиться мысленно управлять частотой пульса, т. е. развить навыки замедления сердечного ритма.

По результатам игр у испытуемых было выявлено шесть разных вариантов поведения, и для каждого из них была определена ведущая стратегия саморегуляции.

Например, при стратегии «пробы и ошибки с выходом на результат» испытуемый сначала делал несколько неуспешных попыток, но в конце концов достигал поставленной цели. Испытуемые с такой тактикой основное внимание уделяли не регуляции собственных физиологических показателей (т. е. пульса), а контролю над непосредственным игровым действием. Стратегия «маятниковая динамика» характеризовалась чередованием успешных и неуспешных попыток, а «последовательное обучение» – улучшением результата от попытки к попытке.

Анализ результатов эксперимента свидетельствует об определенной последовательности возникновения и развития зон активности в головном мозге испытуемых. «Пик» соревновательного сюжета приходился

на четвертую – шестую попытки, когда последовательно в борьбу за выигрыш вовлекалось все большее число вновь образующихся нейронных ансамблей.

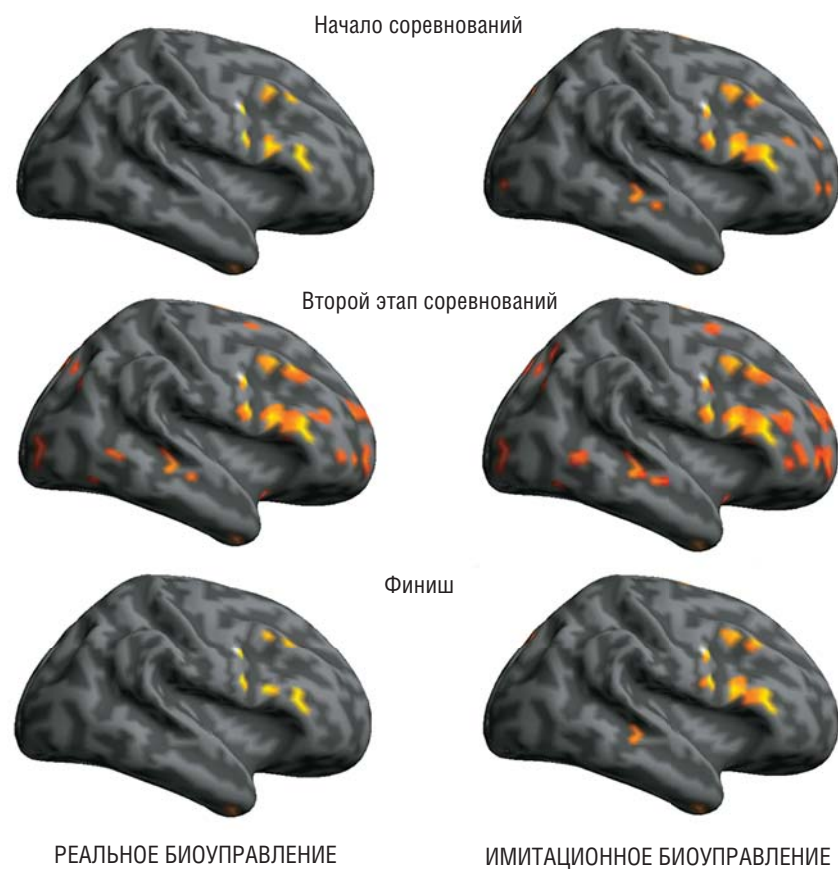
Интересно, что новые зоны этой активности локализовались в том числе и в мозжечке. Анализ динамики их образования дает основание предположить, что мозжечок выполняет в нашем головном мозге роль не только регулятора двигательных функций, но и модификатора когнитивных (познавательных) функций, регулируя скорость, силу, ритм и точность мышления. При этом происходит последовательное развертывание программы когнитивных операций в режиме, организованном адаптивной обратной связью.

Именно так в игре «Вира!» формировалась «дорожная карта» когнитивного управления игровым сюжетом, согласно стратегии «проб и ошибок», наиболее распространенному варианту саморегуляции.

Ложь отличается от правды

Виртуальная реальность, представленная в виде игрового соревновательного сюжета, управляемого через волевою регуляцию физиологической характеристики, дает человеку уникальную возможность проявить обычно блокируемые особенности поведения. И в этом смысле не только виртуальная игра, но и вообще любой игровой тренинг позволяют нам выявить скрытые способности, которые мы сможем успешно использовать в реальной жизни.

В этом контексте представляет интерес анализ данных игрового эксперимента, проведенного в МТЦ СО РАН, в котором помимо «реального» биоуправления использовалось так называемое имитационное



В режиме реального и «ложного» (имитационного) биоуправления, направленного на когнитивное управление частотой пульса в игровом сюжете «Вира!», активация зон мозга идет по схожему сценарию, хотя и различается в деталях. В том числе в режиме имитационного биоуправления происходит существенное обогащение зон активации структур по сравнению с реальным: появляются новые нейронные ансамбли в мозжечке, веретенообразной извилине, мосте, стволовых структурах и других участках мозга. Максимальный рост объема активации приходится на второй этап игрового биоуправления, через 8–12 мин после вовлечения в реальный или ложный игровой сюжет. Затем, по мере развития сюжета, эти значения существенно снижаются. Но хотя для обоих вариантов биоуправления выявлены схожие закономерности, количественные показатели при этом значительно различаются

(ложное) биоуправление. Другими словами, когда развитие игрового сюжета было совершенно случайным и не зависело от действий испытуемого. При этом сами испытуемые не знали, что в одной из серий виртуальных тренировок реальная обратная связь отсутствует.

По оценке эффективности результата, достигнутого в этой игре, испытуемых можно разделить на две группы. Первая из них демонстрировала более эффективные стратегии саморегуляции при наличии реальной обратной связи, чем в случае «ложного» биоуправления. При этом даже в последнем случае испытуемым удавалось после нескольких неудачных попыток добиться замедления ритма сердечных сокращений.

Вторая группа продемонстрировала менее эффективную стратегию саморегуляции: даже на «реальном» этапе этим испытуемым удалось лишь частично добиться поставленной цели. При отсутствии же обратной связи наблюдался интенсивный и «хаотичный» поиск решения, что выражалось в увеличении разброса значений пульсового интервала.

И тем не менее обе эти группы испытуемых показали более высокую эффективность саморегуляции при

реальном биоуправлении, чем при имитационном: мозг достаточно успешно отличал «правду» от «лжи».

Нужно сказать, что и реальное биоуправление, и его имитация сопровождалась выразительной динамической картиной работы определенных мозговых образований, выражаемой в изменении объема активации и перераспределении зон активности. В процесс фактически вовлекалась вся поверхность коры головного мозга, причем подавляющее большинство корковых зон, задействованных при имитационном и реальном тренинге, пересекались и в обоих случаях характеризовались максимальными значениями активации. И все же надо отметить, что в режиме имитационного биоуправления ряд мозговых структур активизировался значительно сильнее, чем при реальном биоуправлении: новые нейронные ансамбли появлялись в мозжечке, веретенообразной извилине и в других отделах мозга.

Если же попытаться описать наиболее общий «маршрут» активации мозговых структур во время игры, то можно сказать, что после старта в работу сначала вовлекаются широкие корковые поля мозга, а заканчивается такой «когнитивный маршрут» в мозжечке.



БЕСПРОИГРЫШНЫЕ ИГРЫ

Специалисты Института молекулярной биологии и биофизики СО РАН (Новосибирск) и новосибирской Научно-производственной компании «Компьютерные системы биоуправления» создают уникальный продукт – компьютерные игры, соревновательный сюжет которых управляется физиологическими характеристиками человеческого организма (температурой, пульсом, дыханием, биотоками головного мозга и мышц).

Технология «компьютерного игрового биоуправления» базируется на естественных механизмах саморегуляции функций человеческого организма. При этом благодаря соревновательному характеру устраняется монотонность процедуры обучения: увлекательный сюжет мотивирует испытуемого, вызывая у него эмоциональный интерес к результату и таким образом способствуя более эффективному обучению навыкам саморегуляции.

Поскольку достижение выигрыша требует от испытуемого принятия нетривиальных решений, подобную игру можно квалифицировать как творческую обучающую деятельность, привлекательность которой заключается в непредвиденности конечного результата. Так как каждая последующая игровая попытка базируется на результате предыдущей, игровое биоуправление становится залогом самосовершенствования испытуемого, импульсом к поиску новых эффективных стратегий саморегуляции. А поскольку игрок мотивирован желанием выиграть, он вынужден держаться в предписываемых игрою рамках и сохранять спокойствие.

На сегодня игротека, созданная новосибирскими специалистами НИИ молекулярной биологии и биофизики СО РАН (до 1998 г. – Институт медицинской и биологической кибернетики СО РАН), представляет собой семейство уникальных компьютерных игр с адаптивной обратной связью. В этих играх игрок может управлять водолазом или гребцом, волшебником или водителем; участвовать в поиске затонувших сокровищ, шоссейных гонках или строительстве башни «до небес». Цель игры проста: участник побеждает только в том случае, если обучается управлять собой, своими физиологическими функциями в ситуации соревновательного стресса. Игры выполнены в современном мультимедийном дизайне и предназначены для любого возраста

Игры, созданные на основе технологии биоуправления, можно использовать для решения широкого класса лечебных и реабилитационных задач. С их помощью можно оценить актуальное психофизиологическое состояние человека, к тому же подобная игровая деятельность сама по себе обладает выраженным антистрессовым эффектом. Но главное, с помощью этой технологии можно раскрыть потенциальные ресурсы организма, которыми мы в нашей обычной жизни не умеем пользоваться



В игре «Гребной канал» участник учится управлять своими эмоциями под контролем физиологического параметра. Чтобы победить в состязании по гребле на байдарках, нужно от заплыва к заплыву прогрессивно замедлять свой сердечный ритм или повышать температуру пальцев или кожно-гальваническую реакцию. Состязание организовано по олимпийской системе



В игре «Ралли» участник «сидит» за рулем автомобиля, мчащегося по гоночной трассе, а в зеркало заднего вида он может наблюдать за движением автомобиля соперника. Игрок придет к финишу первым, если сможет контролировать свой пульс в азарте гонок. Однако, расслабляясь, нужно быть начеку, чтобы успеть среагировать на камни, внезапно появляющиеся на дороге



Волшебная обстановка и чудесные превращения в игре «Магические кубики» постепенно погружают в состояние глубокого расслабления. Чародейные кубики, складывающиеся в башню, ложатся друг на друга тем точнее, чем больше игрок сумеет замедлить свое сердцебиение. В ином случае башня развалится, и строительство нужно будет начинать заново

Последовательное вовлечение мозговых структур в организацию новых нейронных сетей во время виртуального тренинга обеспечивает возникновение нового навыка и его последующее закрепление в мозге. И в этом смысле подобные работы лежат в русле нового тренда в развитии современного социума, который получил название «игрофикация».

Эффективно или справедливо?

Психология – одна из наиболее перспективных сфер использования технологии нейровизуализации средствами фМРТ, потому что эта научная область практически лишена представлений о локализации (в анатомическом смысле) когнитивных функций. Ведь основные сведения об их «территориальной привязке» психологи обычно черпают из общения с пациентами, у которых инструментально обнаруживается локальное поражение мозга либо которым на длительное время вживлены внутримозговые электроды.

В одной из работ американских исследователей была сделана попытка ответить на вопрос о локализации мозговых структур, призванных классифицировать такие когнитивные категории, как равенство и эффективность (Hsu Ming *et al.*, 2008). Другими словами, структур, призванных решить извечную дилемму: как следует действовать – эффективно или справедливо?

В игровом эксперименте испытуемых «усаживали» за руль грузовика, везущего продукты питания в «голодный» район Южной Африки. Условия были таковы: если испытуемый будет неукоснительно следовать инструкции и раздавать продукты поровну каждому голодающему, часть груза обязательно испортится в пути. Если же пренебречь половиной нуждающихся, то потеря продуктов уменьшится в разы, но, естественно, достанется меньшему числу людей. Как же поступить? Пожертвовать потерей продуктов или же, руководствуясь «разумным» выбором, оставить половину нуждающихся без надежды на помощь?

Оказалось, что эмоциональная оценка «эффективности», «справедливости» и «общей пользы» принимаемого решения осуществляется тремя разными мозговыми структурами. Отдел мозга, называемый «скорлупа» (лат. *putamen*), отвечает за эффективность, кора «островка» (лат. *insula*) защищает интересы справедливости, совокупную же меру эффективности и неравенства, т.е. полезность, оценивает септальный орган (лат. *septum*).

Эти результаты согласуются с уже имеющимися данными, что именно вышперечисленные мозговые структуры являются интеграторами различных психических «переменных» в вынесении окончательных «социально ориентированных» приговоров и оценок. Можно предположить, что окончательное решение

поставленной этической проблемы принимается путем сравнения сигналов из разных источников и сличения их с ретроспективным опытом, при этом в когнитивный процесс вовлекаются и другие области мозга.

Число публикаций, посвященных различным фундаментальным и прикладным аспектам функциональной магнитно-резонансной томографии и проблемам интерфейса «мозг – компьютер», за последние годы неуклонно растет (главным образом за рубежом, отечественных работ в этом списке практически нет). Развитие соответствующих технологий открывает сразу несколько перспективных прикладных направлений. Например, появилась возможность наблюдать за особенностями циркуляции крови в мозговом сегменте, находящемся в активированном состоянии, – это можно использовать для мониторинга определенных структур мозга в случае нарушения мозгового кровообращения (инсульта) или при подборе сосудистых препаратов.

Большие перспективы открывает и развитие когнитологии – направления нейронаук, занимающегося исследованием базовых механизмов работы мозга: «ментальными стратегиями», их локализацией, динамикой, способами использования и совершенствования в повседневной жизни. Так называемая интерактивная стимуляция дает возможности организовать обучающую (лечебную) обратную связь непосредственно через «заинтересованную» мозговую структуру. Визуализируя, например, поясную извилину или гиппокамп, вы получаете шанс «прямого разговора» с мозгом.

Функциональная магнитно-резонансная томография – мощный инструмент, позволяющий достичь качественно нового понимания организации головного мозга и особенностей высшей нервной деятельности человека и животных. Внедрение технологий фМРТ в различные сферы человеческой деятельности – нейромаркетинг, профессиональный кастинг, оценку эффективности образовательных программ, «детекцию» лжи и т.п. – окажет огромное влияние на дальнейшее развитие не только самих нейронаук, но и всего общества в целом.

Литература

- Каплан А.Я. *Нейрокомпьютерный симбиоз: движение силой мысли // НАУКА из первых рук. 2012. № 6 (48).*
 Штарк М.Б., Коростышевская А.М., Резакова М.В., Савелов А.А. *Функциональная магнитно-резонансная томография и нейронауки // Успехи физиологических наук. 2012. Т. 43, №1. С. 3–29.*

В публикации использованы фото М.А. Покровского